

24. 指向性スピーカを使用した施工現場の騒音低減システムの開発

鹿島道路株式会社 機械部

○内山 智史

阪田 正弘

1. はじめに

工事現場では、重機や作業員の接触事故防止のため、AIカメラや超音波を用いた注意喚起装置を重機に取り付け、事前に設定したエリア内に作業員が入った際に警告音を発するように対策する方法や、重機が動く際にクラクションを鳴らして重機周辺の作業員に注意喚起を行う方法が広く使われている。しかしこれらの警告音は、注記喚起すべきエリア以外にまで届くため、警告音に対する意識の低下や近隣住民に対する騒音となるなどの課題を抱えていた。

そこで当社では、指向性スピーカを活用し、必要な方向にのみ注意喚起することが可能なシステムを開発した。本稿ではシステムの概要および性能検証結果について報告する。

2. 現状の警報装置

工事現場にはローラやダンプトラックといった重機や車両が混在する状況が多い。ダンプトラックの荷台に資材を積み込むときなど、重機と車両が連携する作業も多く、このような場面では合図を送る手段としてクラクションがよく用いられる。また、車両が後進する際には運転手は目視にて後方の安全確認を行うが、人や重機・車両に対し接触および巻き込み事故を防止する注意喚起として周囲に警報音を発信するバックブザーを備えているものが多い。しかし、これらのクラクションやバックブザーは同心円状に音が広がっていくため、警報の対象となる車両や作業員のみならず、周囲全体に音が聞こえるよう大音量に設定されている。そのため作業現場の周辺の住宅などにまで音が届き、生活環境に影響を及ぼすことがある(図-1)。

3. 指向性スピーカによる警報システムの開発

3.1 開発経緯

これらの問題点を解決するため、指向性スピーカを活用した注意喚起装置の現場適用を検討した。

指向性スピーカとは、全方位に様に音が拡散する一般的なスピーカと異なり、音が拡散せずに直線的に進む指向性という性質を持つ(図-2)。そのため、特定の方向にいる人にピンポイントで音

を届けることができることから、商業施設や美術館などの音声案内などですでに利用されている。これを舗装工事現場に応用することで、近隣住民に対してクラクションやバックブザーによる騒音が抑えられると考え、開発するに至った。

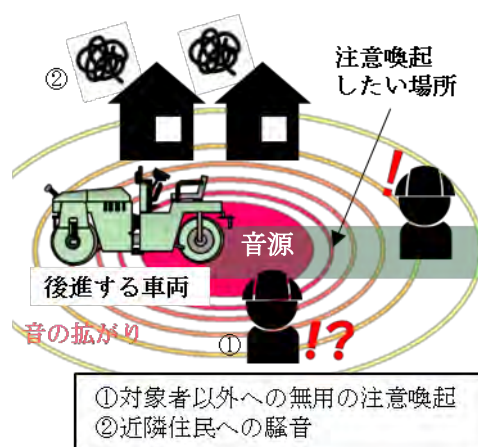


図-1 バックブザーの拡散イメージ

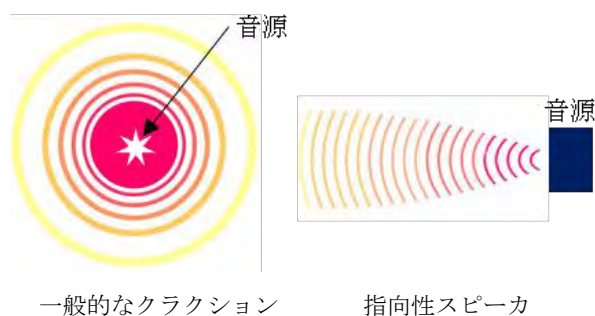


図-2 音の拡散イメージ

3.2 仕様決定

システムを開発するにあたり、1ユニットあたり50個の超音波発振子で構成される市販の指向性スピーカユニットを使用し、指向性の確認、発することができる最大音量の確認、音声を発した際の聞こえ方など各種検証を行う予備検証機を製作した(写真-1)。音の拡がり、音量の比較対象として、重機に用いられている汎用のクラクションを用いた。(写真-2)

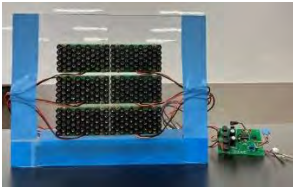


写真-1 予備検証機



写真-2 クラクション

3.3 予備検証

予備検証は、図-3 で示すように延長方向へ 30m、横方向に 10m のエリアを設け、延長方向は 5m ピッチ、横方向は 0, 3, 5, 10m の地点において、普通騒音計を用いて A 特性音圧レベルの測定を行った。音源は予備検証機（写真-1）とクラクション（写真-2）とし、音源の設置高さは 1.2m、測定高さは 1.2m とした。なお予備検証機からは録音したクラクション音を発した。

予備検証の結果、音源の延長方向では距離によらず 80~90dB 程度の音圧レベルが測定され、十分な音量を発せられることを確認できた（図-4）。また、音源から横方向に 10m 離れた線上において、クラクションは延長方向と同等の音圧レベルだったのに対し、指向性スピーカは 50dB 程度であった（図-5）。以上より、指向性スピーカから発する音の直進性を確認することができ、特定の人だけに音を届けるという目的達成に有効であることを確認することができた。

また、使用する超音波発振子の個数を変えて 50, 100, 300 個の条件でそれぞれ音圧レベルを測定した結果、個数が多いほうが高い音圧レベルとなる傾向を得られた（図-6）。

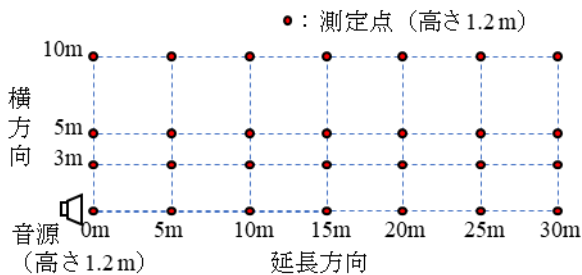


図-3 音圧レベルの測定点

4. 試作機における検証

4.1 試作機の概要

予備検証機をもとに試作機を製作した（写真-3）。超音波発振子の個数を 300 個とし、雨への対策としてホーンを新たに設けたほか、複数の音声データを記録した操作ボックスを製作し、ボタン操作で発する音を切り替えられるようにした。この試作機を用いて予備検証と同様の検証を行った結果、予備検証機と同様の音量・音の拡がりが発せられることを確認できた。

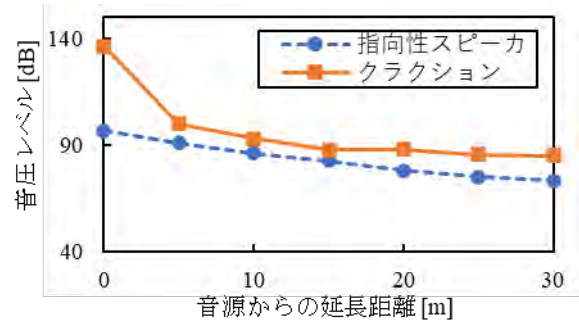


図-4 延長方向におけるクラクションと指向性スピーカの音圧レベル比較

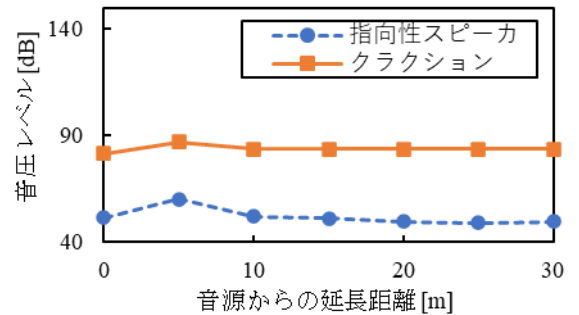


図-5 横方向10mにおけるクラクションと指向性スピーカの音圧レベル比較

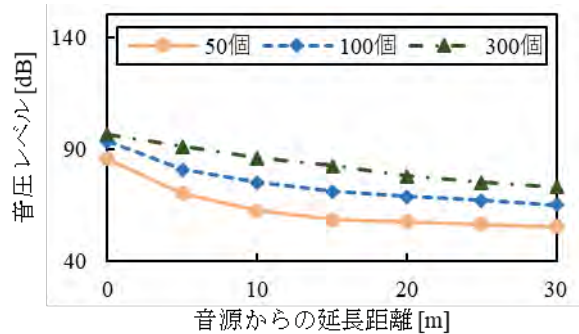


図-6 延長方向における超音波発振子の個数による音圧レベル比較

表-1 音圧レベルの目安¹⁾

音圧レベル	騒音の目安
90dB	パチンコ店内
80dB	ゲームセンター店内 航空機の機内
70dB	主要幹線道路周辺（昼間） 鉄道の車内
60dB	一般道路周辺（夜間） ファミリーレストランの店内
50dB	役場の窓口周辺 書店の店内

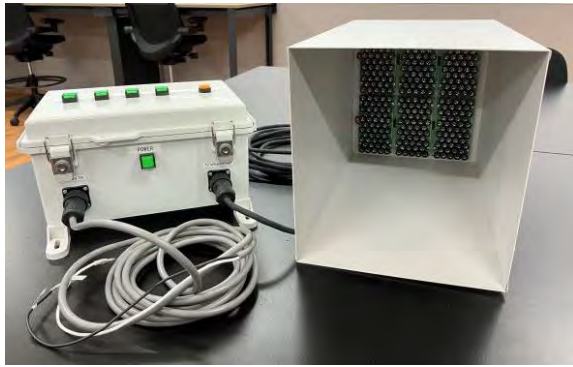


写真-3 試作機外観

4.2 前方車両への注記喚起の検証

スピーカの前方にいる車両の運転手に合図を送ることを想定した検証を行った。写真-4に検証測定状況を示す。試作機をダンプトラックの運転席高さ相当の2.4mに設置し、大型自動車を試作機の前方10、15、20mの地点にアイドリング状態で停車させ、キャビンの外、窓を開けた状態の運転席、窓を閉めた状態の運転席の3条件にて、それぞれの距離における音圧レベルの測定を行った（図-7）。

検証の結果、キャビンの外と比較して運転席では音圧レベルが低くなるのがわかった（図-8）。実際に聞いた感覚としては、キャビンの外ではよく聞こえる、運転席・窓開けでは問題なく聞こえるレベルであったのに対し、窓を閉めた状態では注意深くしないと音を聞き取ることが難しかった。この原因は、運転席は荷台や窓で遮られたことで音が伝わりにくくなったからと考えられる。以上の結果から、前方車両の運転手に音を伝えるときは、運転手に窓を開けた状態にしてもらうなどの条件が必要であることがわかった。

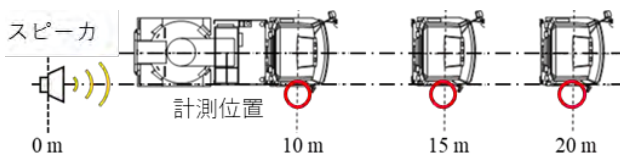


図-7 前方車両の音圧レベル計測位置



写真-4 前方車両への注意喚起検証

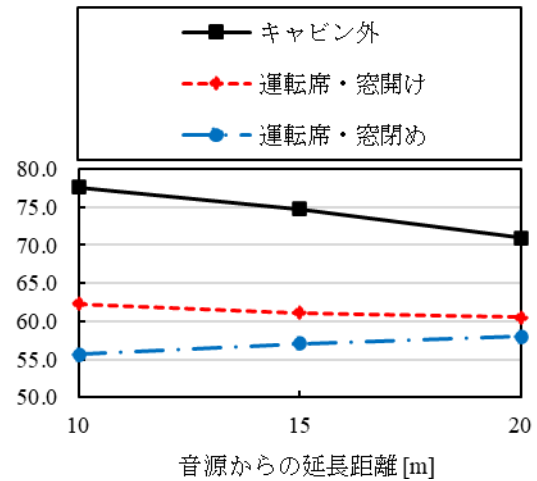


図-8 前方車両における音圧レベル

5. 試作機の改良

5.1 改良に向けた検証

前方車両への注記喚起とは別に、車両後進時における作業員に対して注意喚起する装置を製作した。車両へ搭載するため、装置を小型化し、さらに降雨時の耐久性を考慮した改良を加えた。この改良装置を用いて性能検証を行った。検証エリアは図-3のうち延長方向15mまでのエリアとした。検討内容を以下に示す。

① ホーン長さ

長さ300mmの試作機のほかに、予備検証機に100mmと200mmの2種類の長さのホーンを取り付けて発音し、音圧レベルを比較した。

② メッシュのサイズ

スピーカユニットの浸水対策としてホーン開口部にメッシュを取り付けることを検討した。ホーン先端に18、20、24、30メッシュ（写真-5）のカバーを取り付けた状態で発音し、音圧レベルに与える影響について検証した。

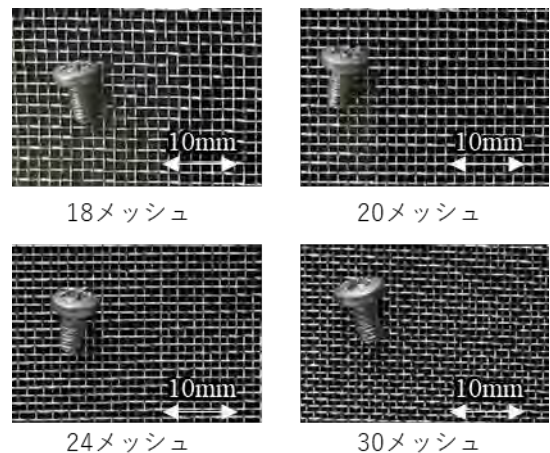


写真-5 メッシュのサイズ

表-2, 表-3に音源の延長方向における音圧レベルの比較を示す。測定時の条件としてホーン長さを変更して(メッシュは無し)それぞれ比較したところ, 検証を行った条件内では, ホーンの長短による音圧レベルへの影響はほとんどなく, 改良に向けてサイズを小さくできると判断した。

表-3で示すとおり, 30メッシュのカバーを装着したところ, メッシュなしと比較して音圧レベルの低下はみられるものの15m離れた位置でも70dB以上であり, 必要な音圧レベルは得られている。したがって浸水対策に優れた細かいメッシュを採用しても性能上問題ないと判断した。

表-2 ホーン長さによる音圧レベル変化

ホーン長さ		音源からの延長距離			
		0m	5m	10m	15m
300mm	音圧レベル	93dB	87dB	79dB	75dB
	低下率	-	-	-	-
200mm	音圧レベル	94dB	87dB	81dB	77dB
	低下率	+1%	±0%	+2%	+2%
100mm	音圧レベル	92dB	87dB	80dB	76dB
	低下率	-1%	±0%	+1%	+1%

表-3 メッシュのサイズによる音圧レベル変化

メッシュのサイズ		音源からの延長距離			
		0m	5m	10m	15m
メッシュなし	音圧レベル	94dB	88dB	81dB	77dB
	低下率	-	-	-	-
18メッシュ	音圧レベル	94dB	87dB	80dB	76dB
	低下率	±0%	-1%	-1%	-1%
20メッシュ	音圧レベル	94dB	85dB	78dB	75dB
	低下率	±0%	-3%	-4%	-3%
24メッシュ	音圧レベル	94dB	84dB	78dB	74dB
	低下率	±0%	-4%	-4%	-4%
30メッシュ	音圧レベル	93dB	83dB	77dB	74dB
	低下率	-1%	-5%	-5%	-4%

5.2 実用機

写真-6, 写真-7に実用機の外観を示す。実用機は超音波発振子の数を200個とし, 操作ボックスの内部に切替スイッチを設け, 動作する超音波発振子の個数を100個または200個に切り替えられるようにした。これにより試験機からサイズの縮小をしつつ現場ごとに最適な超音波発振子数で音を発せ

られるようにした。また, ホーンの長さは100mmとし, ホーン先端に30メッシュの金網を設け, スピーカユニットへの浸水対策を施した。このほか, 操作ボックス内部にUSBメモリ差し込み口を新たに設け, 最大10秒程度の任意の音声データをUSBメモリから内部記憶装置に書き込むことにより, 人の声などを再生できるようにソフトウェアの変更を行った。



写真-6 実用機外観



写真-7 実用機操作部

6. まとめ

指向性スピーカの有効性を確認し, 重機後方にある特定の作業員への注意喚起システムを開発した。今後, 実用機を使用し現場で稼働する重機に取り付けて性能確認を行う。また, 重機のオペレータが発した肉声をリアルタイムで発音できるようにするなど機能向上も検討している。

本システムの開発を通して, 現場の安全性向上と騒音低減の両立につなげていきたい。

参考文献

- 1) 全国環境研協議会 騒音調査小委員会：全国環境研会誌 Vol.34 No.4(2009)「騒音の目安」作成調査結果について